

فصل پنجم

رادیو اکتیویته و کاربرد

رادیوایزوتوپ ها در پزشکی

هسته ای

مقدمه

مقدار یک هورمون در بدن ممکن است در حد پیکوگرم باشد. در این صورت با هیچ روش بیوشیمیایی نمی‌توان مقدار آن را بررسی کرد اما می‌توان از رادیوایزوتوپها برای بررسی آن، استفاده کرد. امروزه افرادی که به بیمارستانها مراجعه می‌کنند مجبورند از روشهای فیزیکی پیشرفته برای تشخیص و درمان استفاده کنند. یکی از این روشها پزشکی هسته ای است.

☼ اتم و هسته آن

اتم از واژه یونانی اتوموس به عنای جزء تفکیک ناپذیر گرفته شده است. ولی امروزه اتم را می‌توانیم به ذرات بنیادین کوچکتر تقسیم کنیم. امروزه علاوه بر الکترون، نوترون و پروتون، ۱۲۰۰ ذره بنیادی دیگر در اتم بدست آمده اند. در میان این ذرات، یکسری ذرات خیلی کوچک وجود دارند که تقریباً بدون جرمند و حد واسط ماده و انرژی می‌باشند.

◀ توجه: از پروتون و نوترون به عنوان **نوکلئون** نام می‌برند چون در هسته اتم واقع شده‌اند.

☞ در اینجا ابتدا با هم مروری بر واحدهای ماده و انرژی در سطح اتمی خواهیم داشت:

واحدهای بار اتمی ← بار الکترون برابر $1.6 \times 10^{-19} C$

واحدهای جرم اتمی ← amu عبارتست از $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن-۱۲

واحد انرژی در سیستم اتمی ← الکترون ولت (eV) که عبارتست از مقدار انرژی ای که در یک الکترون به

وجود می‌آید زمانی که با اختلاف پتانسیل یک ولت شتاب می‌گیرد.

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} J$$

نام ذره	جرم بر حسب amu
نوترون	۱/۰۰۸۵
پروتون	۱/۰۰۷۴
الکترون	۰/۰۰۰۵۵

◀ ۱۲۰۰ ذره بنیادی دیگر به ۳ دسته تقسیم می‌شوند:

۱- لپتونها: از این گروه میتوان نگاترون (β^-) ، پوزیترون (β^+)، نوترینو (ν) و آنتی نوترینو ($\bar{\nu}$) را نام برد. جرم

لپتونها کمتر و مساوی جرم الکترون است. ($m \leq m_e$)

◀ توجه : آنتی نوترینو ($\bar{\nu}$) یا ضد ماده از نظر جرم، حد مرز ماده و انرژی است و در فعل و انفعالات

هسته‌ای بوجود می‌آید. نه جرم دارد نه بار همیشه همراه خود، ماده آنتی‌نوترینو دارد.

☑ نکته: ماده از ضد ماده پایدارتر است.

۲- مزونها: این ذرات عامل چسب و پیوند هسته‌ای می‌باشد و شامل دو گروه اند:

الف) مزون π یا پیونها: π^+ (مثبت)، π^0 (خنثی)، π^- (منفی)

ب) مزون μ یا میوها: فقط خنثی (μ^0)

با به اشتراک گذاشته شدن ذرات کوچک اتم از این گروه، انرژی پیوند هسته‌ای تأمین می‌شود و این

انرژی نیز به نوبه خود باعث چسبندگی پروتونها می‌گردد.

◀ توجه ۱: مزونها از نظر جرم بین پروتونها و لپتونها قرار می‌گیرند.

◀ توجه ۲: هر پیون، ۲۰۷ برابر جرم یک الکترون را دارد

◀ توجه ۳: مزون π عمده انرژی پیوند هسته‌ای را تأمین می‌کند و استفاده زیادی به ویژه در تخریب

تومورها دارد.

۳- هیپرونها: این ذرات خیلی بزرگتر از مزونها و پروتونها هستند. در واقع مانند هسته‌ای می‌باشند که کل

الکترونهایش کنده شده و تبدیل به هسته مثبت و پرانرژی شده است. (هسته ی Unshielded)

این ذرات در تخریب تومور می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. چراکه هرچه جرم ذره بیشتر باشد، اثر

تخریبی آن بیشتر می‌شود.

ذرات سنگینی مثل هیپرونها بیشتر در فعالیتهای هسته‌ای کاربرد دارند.

☑ نکته: از نظر مقایسه جرم داریم:

هیپرون < نکلئون < مزون < الکترون < نوترینو و آنتی نوترینو

ساختمان هسته

هسته‌ها مجموعه‌ای از ذرات بنیادین هستند که در کنار یکدیگر توسط نیروها و انرژی های هسته ای نگه داشته شده اند. حاصل تجمع ذرات بنیادین در کنار هم، اتم را می سازد که دارای عدد جرمی و جرم اتمی است.

$$\begin{matrix} N+P=A \\ P=Z \end{matrix} X$$

📖 مرور برخی اصطلاحات

① ایزومر: دو اتم که Z و A یکسان دارند.

② ایزوتون: دو اتم که N یکسان دارند.

③ ایزوتوپ: دو اتم که Z یکسان، خواص شیمیایی یکسان دارند ولی خواص فیزیکی شان متفاوت است.

ایزوتوپها بر دو نوع اند:

☞ پایدار (طبیعی) ☞ ناپایدار (غیرطبیعی): رادیوایزوتوپها از این نوعند.

④ ایزوبار: عدد جرمی یکسان و بار آنها نیز یکسان است.

☑ نکته : درصد مقدار ایزوتوپ های طبیعی در طبیعت بیشتر است.

☑ نکته: تقسیم بندی ایزوتوپها به پایدار و ناپایدار از نظر فیزیکی می باشد .

◀ توجه: ایزومر ها تنها از نظر سطح انرژی تفاوت دارند.

سطح انرژی یک اتم رادیواکتیو به صورت زیر تقسیم بندی می شود:

① پایدار stable یا base

② ناپایدار excited یا unstable

③ نیم پایدار MetaStable

وقتی حالت یک اتم از unstable به MetaStable می‌رسد یک ذره + و یا - گسیل می‌کند . در نتیجه عدد

جرمی و عدد اتمی اولیه تغییر می‌کند. وقتی اتم MetaStable به Stable می‌رسد از خود پرتو های

الکترومغناطیسی تابش می‌کند.

$$Mo \rightarrow {}^{99m}Tc \rightarrow {}^{99}Tc$$

نیروهای هسته‌ای

علت قرار گرفتن پروتونهای همنام هسته کنار یکدیگر غلبه ی نیروی پتانسیل هسته ای بر نیروی دافعه ی

بین ذرات همنام است. جنس انرژی پیوند هسته‌ای: شکل قرارگیری پروتونها به گونه‌ای است که مزونها، ذرات

تشکیل دهنده پیوند هسته‌ای هستند. در حقیقت نگهداری پروتونها و نوترونها در کنار هم به کمک رد و بدل کردن

این مزونها، صورت می‌گیرد . پروتون و نوترون سریعاً به هم تبدیل می‌شوند به طوری که در یک لحظه نمی‌توان

قطبیت هسته را تشخیص داد.

نظریه یوکاوا بیان می‌کند که نگهداشتن این ذرات پهلوی هم بوسیله چسب هسته‌ای رخ میدهد . بر اساس این

نظریه نوترون و پروتون در هسته به واسطه ی مزون ها به یکدیگر تبدیل میشوند. یک پروتون می‌تواند به یک

نوترون تبدیل شود و در نتیجه این تبدیل ، یک مزون π^+ آزاد می‌کند تا تعادل بار الکتریکی برقرار شود. یک

پروتون نیز با آزاد کردن یک مزون منفی می‌تواند به یک نوترون تبدیل شود.

$$p \rightleftharpoons n + \pi^+$$

منبع انرژی پیوند هسته ای: اگر

$$n \rightleftharpoons p + \pi^-$$

به عنوان مثال جرم اتم خاصی را بر

آوریم، جرم اتمی محاسبه شده بیشتر

$$\Delta M = M - M' \Rightarrow E_b = \Delta M \cdot c^2$$

شده‌ای است که در طبیعت وجود دارد. همانطور که مشاهده می‌شود در حقیقت در اتم تشکیل یافته کاهش جرم

رخ داده است. کاهش جرم ناشی از تبدیل جرم اتم به انرژی در پیوند هسته ای است. که در این روابط M جرم

محاسباتی و M' جرم اتم تشکیل یافته در طبیعت است (حاصل ذرات مزون می‌باشد). E_b انرژی بستگی

هسته می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان انرژی بستگی هر ذره ی درون هسته را محاسبه کرد.

پایداری و ناپایداری ایزوتوپها

نسبت نوترون به پروتون در هسته اتم ها باید مقدار خاصی باشد. و از آن مقدار بیشتر یا کمتر نشود. اگر این نسبت به هم بخورد هسته ی اتم ناپایدار می شود. این نسبت تعادل برابری نوترون و پروتون است. حال اگر هر کدام از نوترون و پروتون زیاد باشند اتم برای رسیدن به تعادل نوترون را به پروتون تبدیل می کند. یا بالعکس. بر این اساس

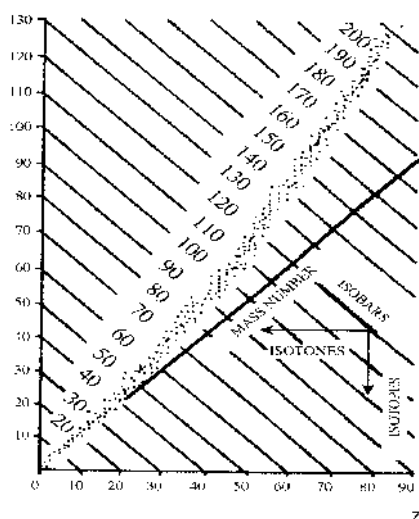
در دو حالت ما رادیو اکتیویته داریم :

$$\frac{N}{P} \geq 1.5 \Rightarrow {}_0^1n \rightarrow {}_1^1P + \bar{\beta} + {}_0^0\bar{\nu}$$

$$\frac{P}{N} \geq 1 \Rightarrow {}_1^1P \rightarrow {}_0^1n + \beta^+ + {}_0^0\nu$$

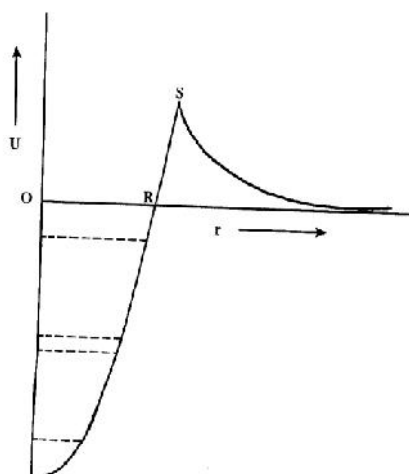
نکته : در تبدلات ماده ی رادیو اکتیو

قانون بقای ماده و تعادل بار رعایت می شود.



مدلهای هسته‌ای

۱- مدل پتانسیل هسته‌ای



هسته در اطراف خود دارای پتانسیلی است که ذره‌ها را دفع می کند و هر ذره‌ای بطور خودبخود نمی تواند از این حریم عبور کند و مقیم هسته شود یا از آن خارج شود؛ به عبارت دیگر ذره باید انرژی مشخصی داشته باشد. مقدار این انرژی ۸ مگا الکترون ولت است.

۲- مدل لایه‌ای یا پوسته‌ای: تئوری وجود لایه در هسته مانند

تئوری بور درباره ی اتم است. یعنی فرض می شود که هستک ها در تراز های جداگانه ی انرژی در درون هسته وجود دارند و هر هسته دارای عدد های کوانتایی ویژه ی خود است. در این مدل هسته هایی که دارای لایه های بیرونی پر باشند دارای بیشترین پایداری می باشند. عدد هایی مانند ۲، ۸، ۲۰ و... و ۱۲۶ وجود دارند که هرگاه مقدار عدد اتمی و تعداد نوترون ها برابر این عدد ها باشد، هسته از پایداری برخوردار است. این اعداد را اعداد شگفت انگیز گویند. هسته هایی مانند هلیوم، اکسیژن و کلسیم دارای چنین اعدادی هستند.

۳- مدل قطره‌ای: در این مدل هسته از شماری از هستک ها که بگونه ای یک نواخت در درون هسته که گوی شکل فرض شده است پخش شده اند. به هر هستک نیرویی از سوی هستک های اطراف وارد می شود.

واکنش‌های هسته‌ای

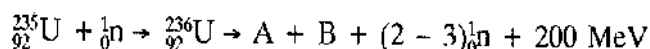
در واکنش های هسته‌ای اتمهایی ناپایدار با سطح انرژی بالا به نام اتمهای مادر وجود دارد که برای اینکه انرژی مازادشان را از دست داده و به هسته‌های پایدار دختر تبدیل شوند تابش انجام می دهند. این تابش می تواند بصورت تابش ذرات باردار مثبت و منفی و یا بصورت تابش امواج الکترومغناطیسی مانند گاما باشد. گاهی هم تابش از هر دو نوع ذره و الکترومغناطیس است. و نیز ممکن است در قسمتی از مسیر تابش ذره و در ادامه مسیر تابش الکترومغناطیس داشته باشد.

واکنش های هسته ای واکنش‌هایی هستند که نیاز به هیچ انرژی فعال سازی ندارند و خودبخودی هستند.

انواع واکنش‌های هسته‌ای

الف) شکافت هسته‌ای Nuclear Fission

در این واکنش ها یک هسته ی مادر سنگین مثل اورانیوم به اتمهای سبک‌تر مثل کریپتوم و باریم به همراه مقداری ذره و انرژی تبدیل می‌شود. در این نوع واکنش ها هسته مادر عمدتاً از خانواده اورانیوم است. اورانیوم ۲۳۵ از نظر پایداری از اورانیوم ۲۳۶ سطح انرژی پائین‌تری دارد. برای آنکه تفاوت سطح انرژی بالاتر برود یک نوترون به سمت آن پرتاب می‌شود و در نتیجه اورانیوم ۲۳۶ بوجود می آید. و طی شکافت هسته‌ای تبدیل به کریپتون، باریم و ذرات و انرژی می‌شود. در سانتریفوژ در طی فرآیند غنی سازی به اورانیوم ۲۳۵ از اورانیوم ۲۳۸ جدا می شود. انرژی



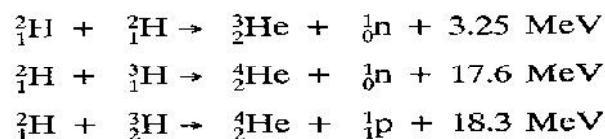
ناشی از شکافت یک کیلوگرم اورانیوم ۲۳۸ معادل انرژی سوختن ۲۱ تن زغال سنگ است. انرژی که تولید می‌شود جهت تولید الکتریسیته مورد استفاده قرار می‌گیرد. ۲ تا ۳ ذره نوترون بوجود آمده در اثر شکافت یک اتم می‌تواند اتم‌های دیگر را نیز متأثر کند و زنجیره‌ای از واکنش‌های هسته‌ای را بوجود آورد. که همان اساس انفجار هسته‌ای است.

ب) جوش هسته‌ای Nuclear Fusion

این واکنش‌ها همانند واکنش‌های هیدروژنی که در خورشید (هلیو) اتفاق می‌افتد می‌باشد. این واکنش‌ها انرژی زیادی تولید می‌کنند. در این واکنش‌ها اتم‌های کوچک‌تر ناپایدار که عمدتاً از جنس هیدروژن هستند (دوتریوم و تریتیوم) در شرایط ایده‌آل با هم ترکیب شده و اتم‌های سنگین مثل هلیوم را که پایدار است تشکیل می‌دهند. در این میان انرژی نیز تولید می‌شود.

توجه : هلیوم منبع فعل و انفجالات انرژی خورشید است و علت نامگذاری خورشید هم به هلیو، همین است. برای انجام این واکنش‌ها درجه حرارت بسیار بالا نیاز است که دمای بهینه برای آن یک میلیون درجه سلسیوس است. برای تأمین این گرمای اولیه باید یک سری انفجارات هسته‌ای رخ دهد.

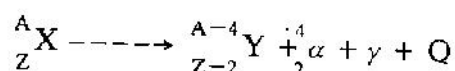
نسل جدید نیروگاه‌ها براساس جوش هسته‌ای چون فرآیندهای جوش هسته‌ای نسبت به شکافت هسته‌ای انرژی بسیار بالا تری دارند.



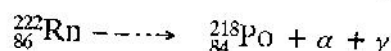
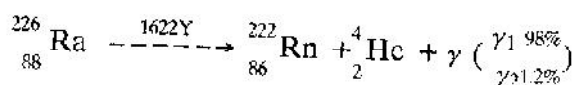
دگرگونی

الف) تابش ذرات آلفا

اتم مادر می‌تواند طی تابش یک ذره ی آلفا به اتم دختر پایدارتری تبدیل شود. ذره ی آلفا ذره ای سنگین از جنس هسته اتم هلیوم (هلیوم بدون دو الکترون)



است. هنگامی که اتم مادر طی تابش آلفا به اتم



دختر تبدیل شود از عدد اتمی آن ۲ واحد و از عدد جرمی آن ۴ واحد کاسته می‌شود.

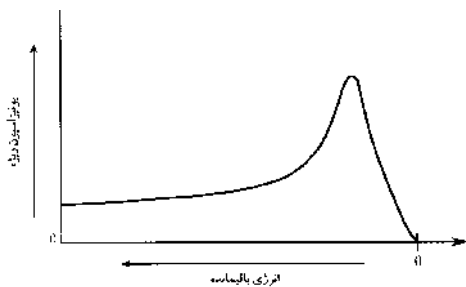
در تخریب تومورها از تیغه‌های رادیو می‌توان استفاده کرد. منبع رادیواکتیو در تخریب تومور تکه ای رادیومی است که آن را مانند سوزن طراحی می‌کنند. وقتی سوزن وارد تومور می‌شود، ذرات آلفای بوجود آمده می‌تواند سلولهای سرطانی را نابود کند. این عمل را **براکی تراپی** می‌گویند. در واقع ذره ی آلفا در بدن ایجاد یونیزاسیون می‌کند که نتیجه آن تخریب قوی می‌باشد. مثل تخریب تومور حفره رحم.

فضای اطراف هسته را عمدتاً الکترونها ی اطراف آن تشکیل می‌دهند. پس احتمال برخورد ذره ی آلفا با الکترون ها خیلی بیشتر از خود هسته ی اتمهای بافت است. در نتیجه فرآیند یونیزاسیون رخ می‌دهد. ذره ی آلفا می‌تواند در مسیر مستقیم به اندازه ۲۵۰۰ جفت یون را در هر میکرون یونیزه کند.

خصوصیات آلفا

- ۱- تک انرژی هستند. (۳ تا ۹ مگا الکترون ولت) ۲- از جنس هسته ی هلیم می‌باشند. ۳- مسیر مستقیم دارند.
- ۴- برد آنها به انرژی شان وابسته است.

نحوه یونیزاسیون بافت در مقابل یک ذره آلفا از نمودار براکت تبعیت می‌کند. در لحظه ی ورود ذره به بافت انرژی

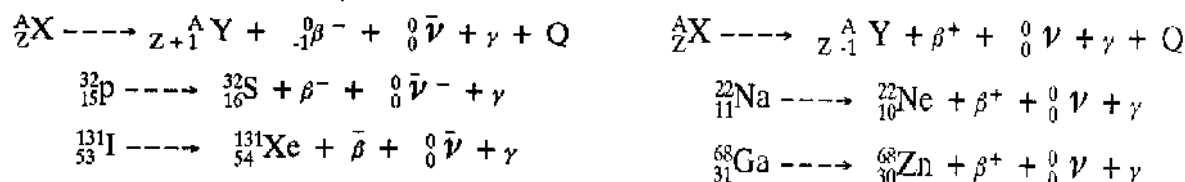


جنبشی آن بیشینه است. در طی مسیر در بافت کاهش انرژی رخ می‌دهد. در نزدیکی انتهای مسیر یک پیک (قله) تولید می‌شود. یعنی تعداد یونیزاسیون خیلی افزایش می‌یابد (با وجود کمتر شدن انرژی). علت این است که در

ابتدای مسیر که ذره با سرعت از بافت می‌گذرد فرصت کمتری برای تخریب مسیر خود خواهد داشت. ولی در انتهای مسیر چون سرعت کم است زمان بیشتری برای تخریب خواهد داشت و مساحت بیشتری را منهدم می‌کند و مسیر انتهایی حالت گرز مانند پیدا می‌کند.

ب (تابش بتا

از دو طریق انجام می شود. یکی تبدیل نوترون به پروتون و دیگری بالعکس.



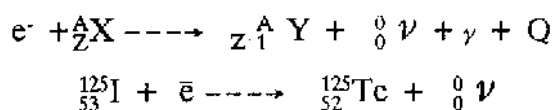
خصوصیات پرتو بتا

- ۱- پلی انرژی کم
- ۲- مسیر زیگزاگی
- ۳- یونیزاسیون کمتر
- ۴- نگاترون بار منفی و پوزیترون بار مثبت -

☑ نکته: ذرات بتای تولید شده از یک منبع تک انرژی نیستند. بلکه پلی انرژی هستند.

ج) ربایش الکترون

گاهی ناپایداری هسته به حدی نیست که ذره بوجود آورد پس یک الکترون از لایه های داخلی جذب می کند. یک الکترون وقتی وارد هسته می شود مقدار ناپایداری را به صورت انرژی آزاد شده کاهش می دهد.



گذشت ایزومریک: رادیوایزوتوپها با گذشت زمان دچار استحاله (دگرگونی یا تجزیه) می شوند پس باید مبنای

سنجشی برای این ذرات وجود داشته باشد.

اکتیویته و دگرگونی

همانطور که در قبل خواندیم، هسته های مواد رادیو اکتیو می توانند با یک و یا چند روند دگرگون شوند. برای نمونه در حالی که برخی از هسته های رادیو اکتیو تابش کننده بتا هستند، برخی دیگر مانند ^{131}I تابشهای گوناگونی دارند. این اتم با تابش پرتوی β به یکی از پنج حالت برانگیخته هسته زنون دختر (Xe) تبدیل می شود و پس از آن به صورت آنی با تابش پرتوی گاما به حالت پایه ای می رسد. مبنای سنجش مواد رادیواکتیو، اکتیویته است.

👉 **اکتیویته:** تعداد اتمهای دگرگون شده در واحد زمان را **اکتیویته** آن ماده می نامیم.

🔗 بدیهی است که اکتیویته براساس نوع اتم رادیو اکتیو، متفاوت می باشد.

واحدهای اکتیویته

۱- **کوری (Curie):** برابر 3.7×10^{10} دگرگونی یا فروپاشی هسته ای در یک ثانیه است.

کوری را با Ci نشان می دهند و از آنجایی که واحد بزرگی است، از واحدهای کوچکتر آن مثل میلی کوری و میکرو کوری استفاده می شود.

۲- **بکرل (Bequerel):** اکتیویته ماده رادیواکتیوی که شمار دگرگونی هایش برابر یک دگرگونی در یک ثانیه باشد.

بکرل را با Bq نمایش می دهیم و از آنجایی که واحد کوچکی است، از واحدهای بزرگتر آن مثل کیلو بکرل و مگا بکرل استفاده می کنیم.

معادله های دگرگونی

بررسیها نشان می دهد که هر رادیوایزوتوپ با ویژگیهای آهنگ دگرگونی آن شناخته می شود.

می توان نشان داد که نسبت اتمهای در حال دگرگونی متناوب با تعداد اتمهای موجود برای دگرگون شدن است. اگر تعداد اتمهای اولیه N و تعداد دگرگونی ها در مدت زمان Δt برابر ΔN باشد، آنگاه داریم:

$$\Delta N = -\lambda . N . \Delta t$$

$$dN = -\lambda . N . dt$$

مهمترین پارامتر دخیل در این معادله، یک پارامتر ثابت است که **ضریب تجزیه اتمهای رادیواکتیو** نام دارد.

(پایای تلاشی) ضریب تجزیه، اثر انگشت اتم رادیواکتیو است و متأثر از شرایط فیزیکی و شیمیایی نمی‌شود.

بنابر تعریف نسبت $\frac{dN}{dt}$ را اکتیویته (A) یا فعالیت پرتودهی می‌نامیم و آن را بر حسب دگرگونی در واحد زمان نشان می‌دهیم.

$$A = \frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N$$

◀ توجه: نشان منفی بدین معناست که تعداد کل اتمها و اکتیویته با گذشت زمان کم می‌شود.

اگر معادله فوق را مرتب کرده و از دو طرف انتگرال بگیریم داریم:

$$\int \frac{dN}{N} = \int -\lambda \cdot dt \Rightarrow \ln N = -\lambda T + c$$

برای بدست آوردن ثابت انتگرال شرایط مرزی $t = 0$ را در نظر می‌گیریم، در این صورت داریم:

$$\begin{cases} t = 0 \\ N = N_0 \end{cases} \Rightarrow c = \ln N_0$$

$$\ln N = -\lambda T + \ln N_0$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

به همین ترتیب برای اکتیویته یا A نیز می‌توان نوشت:

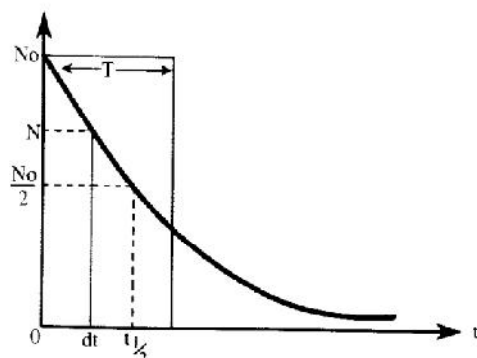
$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

همچنین اگر تعداد هسته های دگرگون شده را با N' نشان دهیم داریم:

$$N' = N_0(1 - e^{-\lambda t})$$

در این روابط N تعداد هسته های نا پایدار باقیمانده، N_0 تعداد هسته های ناپایدار اولیه و $N' = N_0 - N$ برابر

تعداد هسته های دگرگون شده است و t زمان دگرگونی می باشد.



☑ نکته: نمودار تجزیه اتمهای رادیواکتیو به صورت نمایی

یا اکسپوننسیال است.

😊 توجه: دستگاههای اندازه گیری و آزمایش همواره ایده آبل نیستند بلکه در این دستگاهها خطاهایی نیز رخ می دهد. به همین دلیل مقدار رادیواکتیویته اندازه گیری شده نسبی است.

نیمه عمر (Half Life)

نیمه عمر یک ماده رادیواکتیو مدت زمانی است که در آن، اکتیویته (تعداد اتمهای ناپایدار باقیمانده) به نصف مقدار اولیه برسد. (محل برخورد نمودار تولید هسته دختر و تجزیه مادر)

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda}$$

☑ نکته: نیمه عمر یک ماده رادیواکتیو با ضریب تجزیه آن رابطه معکوس دارد.

نیمه عمر مؤثر

ما از نظر فیزیکی انتظار داریم که یک مقدار ماده رادیو اکتیو در مدت زمانی خاص تجزیه شود ولی از طرفی، در بحث بولوثیک، به علل مختلف این انتظار محقق نمی شود بلکه به خاطر تغییراتی که در محیط بیولوژیک بر روی ماده رخ می دهد، نیمه عمر فیزیکی (T_{phy}) دیگر صادق نیست. در اینجا نیمه عمر بیولوژیکی (TBIO) ایجاد می شود. حال ما باید این دو را در تعامل با هم در نظر بگیریم، بدین منظور نیمه عمر مؤثر $T_{effective}$ را تعریف می

کنیم:

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{Bio}} + \frac{1}{T_{Phy}} \quad , \quad T_{eff} = \frac{T_{Bio} \times T_{Phy}}{T_{Bio} + T_{Phy}}$$

عمر متوسط

تجزیه موارد رادیواکتیو آنی نیست، بلکه تجزیه آنها روندی پیوسته است. حال برای بررسی شمار دگرگونیها متوسطی برای این فرآیند فرض می کنیم که کل مقدار ماده رادیواکتیو یک جا تجزیه می شوند و به آن عمر متوسط می گوئیم و داریم:

$$\tau = 1.44T_{\frac{1}{2}}$$

معادلات دگرگونی پی در پی

در بیشتر دگرگونیهای مواد رادیواکتیو، هسته دختر بدست آمده از یک دگرگونی، خود نیز رادیواکتیو است. هنگامی که چنین باشد باید $A \xrightarrow{\lambda_1} B \xrightarrow{\lambda_2} \dots$ به کار گرفته شود که در آن A نشانگر رادیونوکلئید مادر، B رادیونوکلئید دختر و C نوکلئید پایدار حاصل می باشد. پایای دگرگونی در گذر از A به B برابر λ_a و از B به C برابر λ_b است. اگر شمار اتمهای رادیواکتیو A و B در زمان $t = 0$ برابر N_a^0 و N_b^0 و در زمان t برابر N_a و N_b فرض شود با بکارگیری برابری کلی داریم:

$$N_a = N_a^0 e^{-\lambda_a t}$$

آهنگ دگرگونی A و آهنگ تولید B می تواند به گونه $\frac{dN_a}{dt} = -\lambda_a N_a$ نوشته شود. در هر زمانی مانند t هم تولید B و هم از میان رفتن آن وجود دارد. آهنگ خالص دگرگونی B تفاوت میان آهنگ تولید آن از برابری بالا و آهنگ دگرگونی خود نوکلئید است بنابراین:

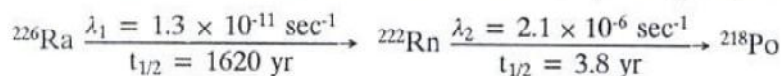
$$\frac{dN_b}{dt} = \lambda_a N_a - \lambda_b N_b \longrightarrow \frac{dN_b}{dt} = \lambda_a N_a^0 e^{-\lambda_a t} - \lambda_b N_b \quad (1)$$

از حل این معادله دیفرانسیل با در نظر گرفتن N_b به گونه تابعی از زمان و شرایط $N_b = 0$ در زمان $t = 0$ خواهیم داشت:

$$N_b = \frac{\lambda_a}{\lambda_b - \lambda_a} N_a^0 (e^{-\lambda_a t} - e^{-\lambda_b t}) \quad (2)$$

که این معادله، برابری ترازمندی یا تعادل رادیواکتیو میان رادیوایزوتوپ مادر و دختر است ترازمندیهایی که ما با آنها سروکار داریم چنین هستند:

(۱) **ترازمندی پایدار**: اگر نیم عمر رادیوایزوتوپ مادر بسیار بزرگتر از نیم عمر رادیوایزوتوپ دختر باشد یعنی $T_1 \gg T_2$ (نیم عمر مادر 10^4 برابر یا بیشتر از نیم عمر دختر) باشد در چنین حالتی دگرگونی رادیوایزوتوپ مادر در چند نیم عمر رادیوایزوتوپ دختر می تواند ثابت فرض شود. نمونه چنین حالتی در دگرگونی رادیوم به رادون که در پزشکی کاربرد پرتو درمانی دارد دیده می شود.

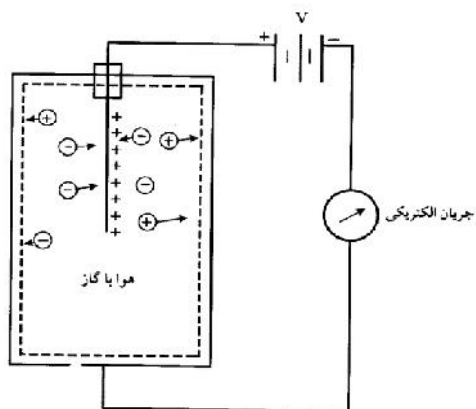


در دگرگونی R_a به R_n اگر شرطهای $T_1 \gg T_2$ و $\lambda_1 \gg \lambda_2$ بکار رود، معادله ترازمندی دو رادیوایزوتوپ چنین ساده می شود.

$$N_b = \frac{\lambda_a}{\lambda_b} \times N_a^0 e^{-\lambda_a t} \quad (3)$$

با گذاری $N_a = N_a^0 e^{-\lambda_a t}$ در برابری ۳ خواهیم داشت.

دکتور (آشکارساز) و فرایندهای آشکارسازی:

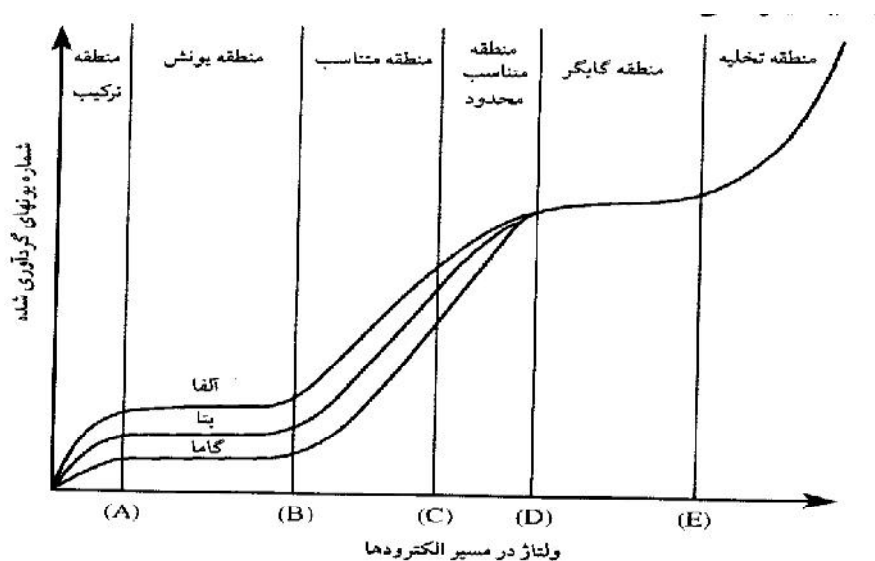


۱- فتوشیمیایی ۲- فیزیکی **روشهای فیزیکی:** اتاقک یونش :

اساس این روش یونیزاسیون است . یک فرآیند اولیه فیزیکی تخلیه الکتریکی در گازها یا یونیزاسیون ، که طی آن یک و یک یون مثبت سنگین بوجود می آید. در مدار جریان بوجود می آورد. با استفاده از شدت جریان می توان میزان یونش را بدست آورد که

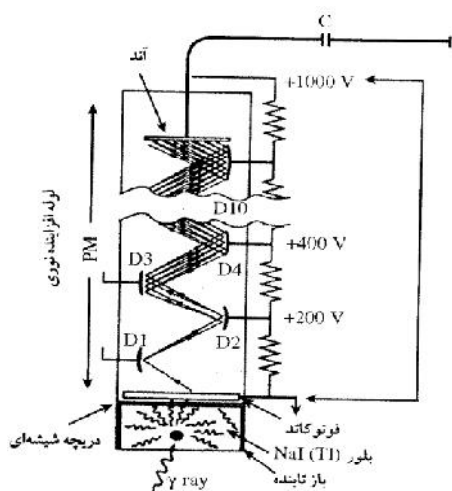
بسته به تعداد فوتونهایی دارد که به این میدان برخورد می کند. حباب یا محفظه یونیزاسیون، محلی که عمل یونش در آنجا رخ میدهد استوانه ای است که درون آن دو الکترود جا گذاشته شده است: الکترود مثبت میله ای و الکترود منفی جدار داخلی استوانه است. در داخل استوانه هوا و مولکولهای خنثی وجود دارند که در اثر اختلاف پتانسیل بالا، دچار هیجان شده و در اثر یک عامل تحریکی مثل پرتو یا ... باعث تخلیه الکتریکی می شود و بارهای منفی جذب الکترود مثبت میله ای می شوند. در این موقعیت گالوانومتر می تواند شدت جریان ایجاد شده را نشان دهد به مثابه افزایش اختلاف پتانسیل، میزان یونش نیز افزایش می یابد تا اینکه به حد اشباع می رسد. مدتی بعد، خود یونها دچار هیجان شده و خود به مولکولهای دیگر برخورد کرده و بصورت تصاعدی یونیزاسیون رخ میدهد که این ناحیه را ناحیه تناسبی گویند. اما در منطقه گایگر، الکترود بیشترین حساسیت را دارد طوریکه در اثر وجود یک پرتو در یا ناحیه محیط یونیزاسیون رخ میدهد بعد از این ناحیه، تخلیه رخ میدهد. با استفاده از شمارنده

گایگر- مولر، تعداد یونهای جمع آوری شده بدست می آید. کنتور گایگر- مولر به مخاطره افتادن سلامتی Counter را توسط آژیر کشیدن یا چراغ چشمک زن گزارش میدهد.



۲- **PMT**: آشکارسازی توسط لوله‌های PMT رخ میدهد. به این روش سوسو زدن و به آشکارساز سوسوزن، گویند که اساس آن لوله PMT یا Photo Multiplier Tube است که یک لوله تقویت کننده نوری است.

ساختار PMT: مهمترین بخش آن فقط بلور یا کریستال است که از جنس یدید سدیم است و ناخالصی تالیم دارد این بلور با ضخامت مشخصی در مسیر ورود پرتو قرار می‌گیرد، بعد از بلور فلزی به نام فوتوکاتد وجود دارد و جایی است که را در اثر برخورد پرتو رها می‌کند که جنس آن عمدتاً اکسید منیزیم است و بعد از آن صفحات بشقابی خاصی به نام Dynode بصورت متوالی قرار می‌گیرند. بین دانیو‌ها اختلاف پتانسیل مثبت برقرار است و حدود ۱۰-۱۲ قطعه دانیو در یک PMT بکار می‌رود. اختلاف پتانسیل اولین و آخرین دانیو ۱۰۰۰V است. در اکثر دستگاههایی که نیاز به Amplification داریم PMT دارند. بطور مثال پرتو برخورد کرده و بلورها را تحریک می‌کند مثل فرآیند جذب و نشر هنگام برگشت به حالت پایه، پرتو نثری میدهد که جنس آن مرئی است که خود



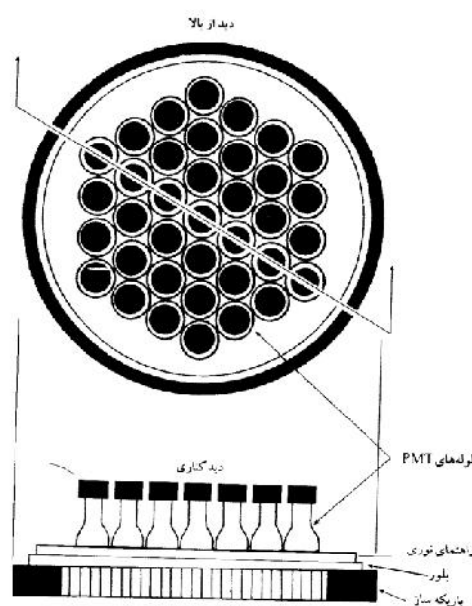
این پرتوها به فوتوکاتد برخورد می‌کنند و از این فلز کنده شده و به اولین دانیو برخورد می‌کند دانیو‌ها سیگنال را تقویت می‌کنند و را به تبدیل می‌کنند و بصورت تصاعدی رفته‌رفته تقویت انجام می‌شود و می‌توانیم بصورت دیجیتالی شمارش کنیم

دستگاههای مورد استفاده در پزشکی هسته‌ای:

۱- اسکنر خطی ۲- دوربین ۳- PET ۴- شمارنده

۱- **اسکنر خطی**: Rectilinear Scanner در قدیم طراحی شده و نوع قدیم آن یک PMT دارد و مشخصه مهم آن، این است که بصورت مکانیکی کار می‌کند و سرعت و دقت آن پایین است. اساس رادیواکتیو، نقاط Hot و

Cold می‌باشند. بطور مثال اگر شخصی را بصورت Oral مصرف کند، این یون در غده تیروئید ظاهر می‌شود. یعنی نقاطی از غده یونید را جذب می‌کنند نقاط Hot می‌باشند و وقتی Sense می‌کنیم فقط این نقاط دارای تابش هستند و اگر نقاط Cold هم واجد این تابش باشند سرطان تشخیص داده می‌شود. پرتوی که برای تشخیص بکار می‌رود فقط است، چون میزان برد بسیار کوتاه است و حتماً باید از Source استفاده کنیم. این فوتون در بلورنمایی سینتی لیشن (سوسوزدن) ایجاد می‌کند و اساس تشخیص نیز سینتی گرافی اسکن است. اسکنر خطی، اهرمی دارد که آن را روی محیط مورد نظر بصورت مکانیکی، حرکت می‌دهیم (بصورت رفت و برگشتی)، این محیط، ناحیه‌ای است که احتمال می‌دهیم پراکندگی در آنجاست، سپس نقاط درخشنده روی مانیتور و ... ثبت می‌شود. امروزه دستگاههایی با دقت و سرعت و سرعت بالا طراحی شده‌اند که بیشترین کاربرد را در تشخیص پزشکی دارند.



۱- دوربین: که تفاوت آن با اسکنر خطی این است که از چند PMT با طراحی متفاوت در آن استفاده می‌شود. این چند تا PMT در سطح مقطع چند وجهی مثلاً ۶ وجهی قرار داده می‌شوند. در معرض ورود پرتوهای به PMT ها، جسمی از جنس NaI با ناخالصی Tl وجود دارد؛ قطر سطح مقطع دوربین، ۴۰ cm و ضخامت آن ۱۰ cm است. مبدأ ورود پرتوها ممکن است توسط کولیماتورها یا باریکه سازها محدود شود که به شکل ۳ دیده می‌شوند.



منفذ

کانونی کننده

هموار

(ج) به شکل منفذ

(ب) به شکل فوکوس یا کانونی کننده

(الف) Flat یا هموار

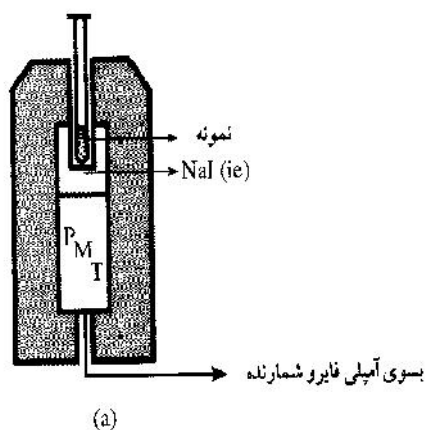
اگر ناحیه مورد نظر، کوچک باشد مثل کلیه می‌توانیم فوکوس و اگر بزرگ باشد مثل کبد می‌توانیم

از Flat Field استفاده کنیم. هر PMT براساس مکانی که قرار دارد یک Sense را از میدان پراکندگی بصورت پرتو نشری دریافت می کند و سیگنالهای دریافت شده تبدیل به نقاط دارای مختصات مکانی مشخص می شوند و در یک سیستم الکترونیک تفاوت زمانی به تفاوت مکانی تبدیل شده و مختصات بدست آمده روی اسیلوسکوپ نقش می بندد و می توان توسط دوربین ساده از آن تصویر گرفت.

۳- PET : Position Emission Tomography : اساس این وسیله پوزیترون است. برای بدست آوردن حد و مرز تومورها یک Source پوزیترون وارد مرز می شود، ممکن است رادیوایزوتوبی باشد و از خود تولید کند، این رادیوایزوتوپ را با ترکیباتی label (نشاندار) می کنند که این ترکیبات باید قابلیت عبور از سد خونی- مغزی را داشته باشند مثل گلوکز. مهمترین مشخص پوزیترون، ناپایداری آن است و نیمه عمر آن ۱۲ است. پوزیترون با ترکیب شده و پرتو الکترومغناطیس بوجود می آورد. اساس تشخیص از قدیم به جدید تغییر می کند. اگر بخواهیم

دقت را افزایش دهیم المنت مورد استفاده را از نظر پیکسل بالا

می بریم.



۴- دستگاه شمارنده: شکل ساده ای دارد برخلاف دستگاههای دیگر

برای تشخیص های نحوه پراکندگی و ... اسکن استفاده نمی شود.

اساس آن سنجش نمونه های آزمایشگاهی است. یک PMT دارد و

لوله حاوی ماده ای است که در دل آن رادیوایزوتوپ وجود دارد.

درون لوله مثلاً RBC ، Label شده با رادیوایزوتوپ NaI قرار داده می شود. سرسوزن تعداد RBC را دریافت و

سیگنال می فرستد، که می توان آن را کرد توسط شمارنده، خود دستگاه شمارنده نیز میزانی اکتیویته به ما میدهد.

کاربرد رادیوایزوتوپ ها :

۱- تشخیصی ۲- درمانی

یک رادیوایزوتوپ برای اینکه در تشخیص و درمان مورد استفاده قرار گیرد: اولاً سمی نباشد یا از دوزهای غیرسمی

استفاده کنیم. ثانیاً نیمه عمر پائین داشته باشند. ثالثاً مانند خود عنصر یا ایزوتوپ طبیعی خود، وارد فرآیندهای

شیمیایی بشود. هر ایزوتوپیک استفاده خاصی دارد: برای پوکی استخوان و برای فرآیندهای رنوگرامها (کلیه) و... نیز از این ایزوتوپ می‌توان استفاده کرد. مهمترین مشخصه Tc این است که می‌توان آن را با یک ژنراتور جمع‌آوری کرد، اکتیویته را بدست آورد. اما سایر ایزوتوپها را باید از مناطق پزشکی هسته‌ای بدست آورد که مفصل این روش، این است که ممکن است از محل تولید تا مصرف زمانی طول بکشد و چون نیمه عمر کوتاهی دارند. میزان اکتیویته کاهش می‌یابد. در کارهای تحقیقاتی از ترکیبات رادیوایزوتوپ استفاده می‌کنیم. (نشاندار کردن و رادیواکتیو کردن اتمی مثل اکسیژن)

در بدن موجود زنده ^{14}C و ^{12}C بصورت رادیواکتیو و معمولی وجود دارد تا زمانیکه فرد زنده است در میزان رد و بدل این دو عنصر تعادل وجود دارد وقتی موجود تنفس نمی‌کند ^{12}C بصورت حباب باقی می‌ماند اما ^{14}C به مرور زمان از بین می‌رود.

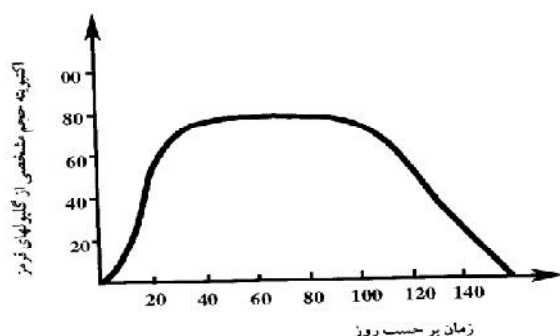
کاربرد های تشخیصی رادیوایزوتوپ‌ها:

۱- اندازه‌گیری حجم خون: برای اندازه‌گیری حجم خون از رادیوایزوتوپهایی مثل کرومات سدیم استفاده می‌کنند. RBC را چند بار شستشو داده تحت اثر سانتیفریوژ تثبیت کرده و Label می‌کنند. در این صورت یک اکتیویته مشخص و یک حجم مشخصی از گلبولهای قرمز نشاندار شده داریم. این حجم مشخص را به یک ورید بازویی تزریق می‌کنیم مدت ۲۰-۱۵ صبر می‌کنیم تا در کل حجم خون بدن پراکنده شود. از ورید بازویی مقابل دوباره نمونه می‌گیریم در counter قرار می‌دهیم که اکتیویته آن کمتر و غیر فعال‌تر است اما حجم بیشتر است، در واقع اکتیویته کم در حجم زیاد و اکتیویته زیاد در حجم کم است.

۲- تشخیص بیماریهای همولیتیک: یا لیزر غیرطبیعی گلبولها؛ از استفاده می‌کنند نیمه عمر این کروم ۲۷ روز است. بعد از تزریق نمونه به شخص که بعد از ۲۷ روز میزان اکتیویته آن نصف می‌شود، نمونه را جمع‌آوری می‌کنیم. در بازه‌های زمانی خاصی اکتیویته را بدست می‌آوریم اگر در کمتر از ۲۷ روز میزان اکتیویته نصف شود نشانه بیماری و لیزر غیر طبیعی است.

۳- تعیین عمر RBC: عمر گلبولهای قرمز ۱۲۰ روز است محل ساخته شدن Hb مغز قرمز استخوان است و محل

اضافه شدن Fe هم همین مکان است. مثلاً نیمه عمر کوتاهی دارد. در مغز قرمز استخوان به مرور در اثر مصرف آهن در هر ترکیب غذایی تجمع می‌یابد و وارد گلبولهای نوظهور یا نوزاد می‌شود و این گلبولها وارد جریان خون می‌شود. در بازه‌های زمانی مشخص مثلاً ۲ روز به ۲ روز، خون‌گیری کرده و اکتیویته را بدست می‌آوریم. تا روز ۲۱ بصورت خطی افزایش می‌یابد که تا جایی که اکتیویته مصرف ۱۰۰٪ شود و تا حدود ۱۲۰ روز ثابت می‌ماند اگر تا روز ۸۰-۷۰ اکتیویته کاهش یافت نشانه بیماری است.



۴- تشخیص کم‌خونی مرگزا: استفاده از رادیوایزوتوپ در تشخیص کم‌خونی که در اثر کمبود یا عدم جذب ویتامین مورد استفاده قرار می‌گیرد. Pernicious Anemia که به خاطر فاکتور داخلی می‌باشد. در ساختار ویتامین عنصر Co طبیعی استفاده شده به همین خاطر

به این ویتامین، کوبالامین گویند که Co ساختار آن را با Co رادیواکتیو جایگزین می‌کنیم یعنی را نشاندار می‌کنیم و آن را به شخص می‌خورانیم در سیستم گوارشی فرد مقداری جذب و مقداری دفع می‌شود بعد از ۷۲-۲۴ ساعت از دفع شخص نمونه‌گیری می‌کنیم و میزان اکتیویته را تعیین می‌کنیم (اکتیویته اولیه و ثانویه را داریم) اگر میزان دفع از ۸۰٪ بیشتر باشد دچار کم‌خونی مرگزا می‌باشد.

۵- نحوه عملکرد غده تیروئید: در بررسی ما؛ هدف، نحوه پراکندگی I در غده است (سنتی گرافی) بعضی وقتها نحوه عملکرد غده تیروئید را سنجش می‌کنیم: (هائپرتیروئیدیسم - هیپوتیروئیدیسم) که بسته به میزان جذب دارد. برای این کار یک مقدار را به شخص تزریق می‌کنیم به مرور زمان جذب غده تیروئید می‌شود میزان I جذب شده را بعد از ۲۴ ساعت توسط شمارنده شمارش می‌کنیم. یک فانتوم یا مولژ استاندارد با عملکرد مشابه غده تیروئید سالم تهیه می‌شود که در اثر ورود I، یک مقدار دفع فیزیکی و یک مقدار دفع متابولیکی خواهیم داشت. میزان اکتیویته فانتوم و بیمار را بدست می‌آوریم. نسبت اکتیویته بیمار Sample و فانتوم Standard را بدست می‌آوریم که این نسبت حتماً کمتر از ۱ است در ۱۰۰ ضرب می‌کنیم:

۶- کاربردهای دیگر: اسکن کبد و بررسی وضعیت جذب گلوکز که در آن، از مواد رادیواکتیو ترکیبات ید استفاده می‌کنند نحوه عملکرد ریه‌ها را توسط استنشاقات بررسی می‌کنند و رادیوایزوتوپ را بصورت گاز که جنس آن Xe (گزنون رادیواکتیو) است بکار می‌برند. در کلیه‌ها (رنوگرامها) نحوه عملکرد کلیه پیوندی را نشان می‌دهند و از ترکیباتی مثل اسید هیپوریک رادیواکتیو استفاده می‌کنند. در گرفتگی‌های عروق خونی (آمبولی) از مهمترین پروتئین خون، آلبومین نشاندار شده، استفاده می‌کنند و در نواحی مختلف اسکن می‌کنند. در بیماریهای مشخصی که مربوط به تغییر غلظت هورمون‌هاست، میزان آنها در حد پیکوگرم است. فرضاً هورمون، آنتی‌ژن است و رستپور، آنتی‌بادی یا آنتی‌کر است. یک نمونه از سرم شخص با غلظت مشخصی از هورمون داریم، مقداری از هورمون (Ag) نشاندار شده را به نمونه اضافه می‌کنیم. در این حالت یک نمونه یا Sample شخص و یک استاندارد (فانتوم) داریم. رقابتی بین Ag نشاندار و Ag خود سرم مشخص که غیر نشاندار است بوجود می‌آید. بر اساس اینکه میزان شخص چقدر باشد میزان هورمون آزاد Free به هورمون باند شده با آنتی‌کور (B) در حالت استاندارد در شخص سالم. (در این روابط، اصل لوث تلیه برقرار است)

